

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Одним из основных факторов, гарантирующих безопасную и надежную эксплуатацию сложных технологических объектов и производств, является высокий уровень подготовки персонала. Между тем обучение на действующих АЭС всегда ограничено регламентом и штатным режимом их эксплуатации. Такая сложная операция, как останов и пуск станции после перегрузки топлива, производится один раз в год, обучение действиям в случае отказов в работе того или иного оборудования на действующей АЭС не проводится. Внедрение в учебный процесс компьютерных тренажеров позволило эффективно решать эти и другие проблемы подготовки специалистов для работы в атомной энергетике.

СОВРЕМЕННАЯ ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ АЭС

Для обучения персонала атомной электростанции действиям в условиях ее нормальной эксплуатации, а также в случае различных отклонений от режимов нормальной эксплуатации на каждой атомной станции России организованы учебно-тренировочные пункты (УТП), оснащенные широким набором обучающих систем и укомплектованные инструкторами, имеющими большой стаж работы на АЭС. Подобные пункты планируется организовать и на белорусской АЭС.

Обучение оперативного персонала АЭС в УТП состоит из нескольких этапов, которые органично дополняют друг друга. Первый этап – это лекции и теоретические занятия. Второй этап обучения проходит с использованием компьютерных анализаторов различного класса, целью которого является изучение состава, устройства и работы оборудования и систем энергоблока, физики процессов, происходящих в оборудовании АЭС. Третий этап включает отработку регламентных действий на полномасштабном тренажере (ПМТ) АЭС, закрепление моторных навыков управления энергоблоком.

Современная мировая практика предполагает, что оперативный персонал атомных электростанций, непосредственно управляющий работой энергоблока с блочного щита управления (БЩУ), ежегодно проходит регулярную подготовку на полномасштабном тренажере АЭС (ПМТ). Развитие и удешевление вычислительной техники сде-

Е.В. ЧЕРНОВ, ведущий инженер Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» России
С.Б. ВЫГОВСКИЙ, к.т.н., доцент Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» России
Д.И. МАКАТУН, аспирант Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси,
В.Е. ЯМНЫЙ, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ядерной физики Белорусского государственного университета

лали возможными разработку и оборудование ПМТ не только для каждой АЭС, но и для каждого энергоблока атомной станции, поскольку даже типовые энергоблоки отличаются топливными загрузками и имеют свои конструкционные особенности.

Современные полномасштабные тренажеры АЭС (рис. 1) представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, в которых полностью представлены все элементы управления и отображения информации действующего энергоблока. Аппаратная часть (блочный щит управления) энергоблока АЭС и ПМТ полностью совпадают. В случае модернизации или замены элементов БЩУ на АЭС аналогичные действия производятся и на БЩУ ПМТ.

Всю информацию о работе энергоблока на ПМТ составляют компьютерные модели физических процессов оборудования АЭС. В объем моделирования входят ней-



Рис. 1. Блочный щит управления ПМТ АЭС с реактором ВВЭР-1000

тронно-физические, теплофизические и электрические процессы, а также модели автоматической системы управления технологическими процессами (АСУ ТП). В процессе приемосдаточных испытаний ПМТ особое внимание уделяется адекватности воспроизведения компьютерными моделями всех процессов и физических явлений, происходящих на энергоблоке АЭС как в штатных, так и в аварийных режимах с единичным и множественными отказами оборудования. Проводится верификация моделей тренажера по расчетно-измеренным данным АЭС в различных режимах эксплуатации.

Помимо полномасштабных тренажеров, требующих дорогостоящего оборудования БЦУ и ограниченных по числу персонала, проходящего на нем обучение одновременно, в процессе подготовки используются **компьютерные обучающие системы (КОС)** различного класса. Примером такой системы может служить **компьютерный анализатор**, объем моделирования в котором совпадает с ПМТ, но отображение информации и управление технологическими процессами производится не с помощью БЦУ, а с помощью компьютерных мониторов, клавиатуры и манипулятора «мышь».

Основными преимуществами использования тренажеров в обучении персонала АЭС являются:

- полная безопасность по сравнению с обучением на реальном объекте управления;
- возможность многократного повторения регламентных действий за ограниченный промежуток времени (например, останова и пуска реактора);
- возможность моделирования единичных отказов оборудования АЭС (например, остановки главного циркуляционного насоса) и отработка связанных с ними действий персонала;
- возможность моделирования множественных связанных и не связанных между собой отказов оборудования;
- возможность моделирования аварийных ситуаций.

Все более широкое распространение в мире, а в последнее время и в России, получает, кроме того, применение ПМТ и компьютерных анализаторов на этапе проектирования и строительства АЭС для проверки технических решений при модернизации или замене действующего оборудования АЭС, особенно при внедрении новых цифровых АСУ ТП. Тренажеры используются также для разработки симптомно-ориентированных инструкций для оперативного персонала АЭС, отслеживающих цепочки событий на энергоблоке и возможные действия персонала в различных ситуациях.

Как к полномасштабным, так и к компьютерным тренажерам различного класса применяются регулируемые законодательством минимальные требования по объему и качеству моделирования. С развитием вычислительной техники стандарты моделирования неуклонно повышаются, происходит переход от точечных моделей к пространственно распределенным, повышаются требования к объему и точности моделирования оборудования АЭС и происходящим в них процессам. С переходом на цифровые АСУ ТП на порядки возрастает количество поступающих и обрабатываемых сигналов от оборудования АЭС, что существенно расширяет верификационную базу при создании компьютерных тренажеров различного класса.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА АЭС В БЕЛОРУССКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

В 2009 году на физическом факультете БГУ был введен лабораторный практикум для студентов, обучающихся по специальности «Ядерные энергетические установки». При этом основное внимание решили уделить физическим основам ядерной энергетики. Из множества типов и конструкций реакторных установок для лабораторного практикума был выбран водо-водяной энергетический реактор с электрической мощностью 1000 МВт (ВВЭР-1000) как наиболее распространенный в мире, технология которого проверена десятилетиями эксплуатации в России и других странах. В настоящее время строительство АЭС с реакторами ВВЭР-1000 ведется в Иране, Индии и Китае. Этот тип реактора выбран и для белорусской АЭС.

Лабораторный практикум построен на использовании компьютерного тренажера КОС-А3 реактора ВВЭР-1000, переданного в БГУ в рамках программы сотрудничества МАГАТЭ.

В объем моделирования компьютерного тренажера КОС-А3 реактора ВВЭР-1000 входят:

- реактор и активная зона;
- первый контур: холодная и горячая нитки главного циркуляционного контура, главные циркуляционные насосы, парогенераторы;
- компенсатор давления и система компенсации давления первого контура;
- система подпитки-продувки первого контура, включая систему борного регулирования;
- второй контур: трубопроводы пара и воды, главный паровой коллектор, турбопитательные насосы;
- система управления и защиты;
- системы безопасности.

Основным элементом, организующим взаимодействие пользователя и тренажера, является так называемый «экранный формат» (ЭФ). Тренажер КОС-А3 имеет десять ЭФ, которые дают наглядное описание конструкции реактора, отображают информацию о процессе моделирования реактора в виде чисел, графиков, гистограмм, плоских и объемных распределений физических величин в активной зоне реактора: энерговыделения в тепловыделяющих сборках (ТВС), выгорания топлива, температуры топлива и теплоносителя и т.д. Предусмотрена возможность управления тренажером с помощью компьютерного манипулятора «мышь». Пользователь может управлять концентрацией борной кислоты в теплоносителе первого контура, положением групп органов регулирования системы управления и защиты реактора (ОР СУЗ), запускать и останавливать насосы первого и второго контура, управлять положением различных задвижек и работой автоматических регуляторов. На рис. 2 представлен основной экранный формат тренажера КОС-А3.

Лабораторный практикум на тренажере КОС-А3 дает возможность студентам ознакомиться с конструкцией и основами управления реактором ВВЭР-1000, качественно изучить основные физические процессы и явления в активной зоне реактора ВВЭР-1000: переходные про-

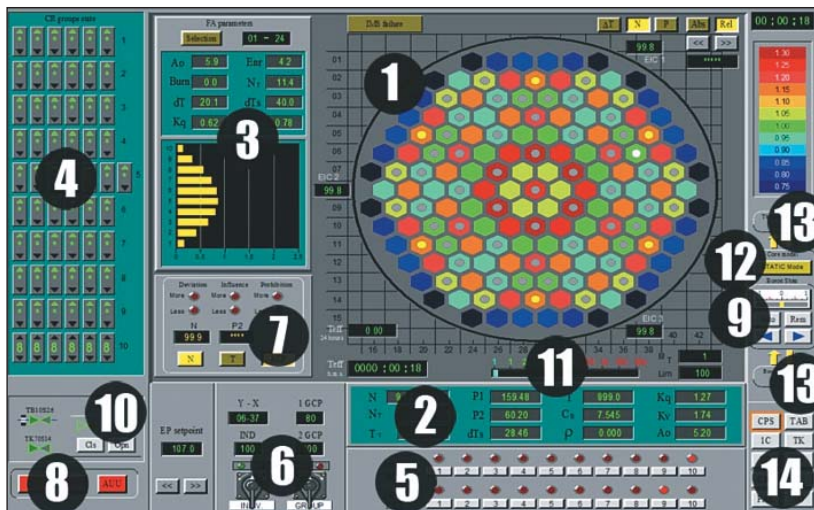


Рис. 2. Основной экран управления компьютерным тренажером КОС-А3:

1–3 – интегральные физические характеристики активной зоны и их распределение по ТВС; 4–8 – положение и средства управления ОР СУЗ в активной зоне; 9, 10 – управление концентрацией борной кислоты в 1-м контуре; 11–14 – средства управления моделированием и отображением его результатов

цессы на мгновенных и запаздывающих нейтронах, ксеноновые переходные процессы, отравление реактора самарием, выгорание топлива в реакторе и остаточное энерговыделение.

Во время работы тренажера протоколируются как результаты моделирования, так и управляющие воздействия на тренажер со стороны обучаемого.

Таким образом, выполнение лабораторных работ с использованием тренажера включает теоретическую подготовку к занятию, решение учебной задачи на тренажере, анализ результатов моделирования, построение таблиц и графиков, ответы на контрольные вопросы.

Следует отметить, что КОС-А3 разрабатывался как средство подготовки оперативного персонала АЭС. Он не предназначен для проведения расчетов реакторов ВВЭР-1000, поддержки их эксплуатации, обоснования безопасности, лицензирования. Подготовка специалистов эксплуатирующих, надзорных и регулирующих организаций требует более глубокого понимания не только качественных, но и количественных характеристик АЭС с реакто-

ром ВВЭР-1000. Такой анализ способен обеспечить современный аналог КОС-А3 – многофункциональный анализатор режимов реакторного отделения (МФА-РО). МФА-РО верифицирован на широком спектре расчетно-экспериментальных данных АЭС и аттестован для расчетов реакторов ВВЭР-1000 Государственным атомным надзором Российской Федерации.

МФА-РО обладает возможностью конфигурации произвольных топливных загрузок и произвольного расположения органов управления в активной зоне, моделирования топливных циклов с произвольной перестановкой ТВС в активной зоне. Широкие возможности по формированию активных зон дополнены удобными опциями для проведения их расчета в реальном масштабе времени. Например, расчет может производиться в статическом и динамическом режимах; для поиска критического состояния реактора

возможно использование борного регулятора; модель может работать на граничных условиях по реактору, а также легко подключаться или отключаться от модели первого контура; полностью воспроизводится штатная процедура измерений на реакторе ВВЭР-1000 с помощью модели боковых ионизационных камер.

Возможности МФА-РО по качественному и количественному анализу коэффициентов и эффектов реактивности, весов групп ОР СУЗ и аварийной защиты реактора, анализу топливных циклов и ксеноновых переходных процессов реализованы в Национальном ядерном университете России в двух связанных лекционных курсах и лабораторных работах:

- лекции «Автоматизация в ЯЭУ» и лабораторная работа «Системы управления и защиты»;
- лекции «Моделирование физических процессов в оборудовании АЭС» и лабораторная работа «Управление и безопасность ЯЭУ».

Возможность использования МФА-РО для обучения будущих белорусских специалистов сейчас рассматривается.

специализированная
МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА
КОНФЕРЕНЦИЯ

АТОМEXPO
Belarus

ОРГАНИЗАТОРЫ:
Министерство энергетики Республики Беларусь
Национальная академия наук Беларуси
ЗАО "Техника и коммуникации"
ООО "Атомэкспо" ГК "Росатом"

г. Минск
ВЫСТАВОЧНЫЙ ПАВИЛЬОН
пр. Победителей, 14

2-4.04.2011